



## ILUMINAÇÃO NATURAL: REVISÃO DA LEGISLAÇÃO CONSTRUTIVA DE FLORIANÓPOLIS

M G V Amaral & F O R Pereira

Universidade Federal de Santa Catarina

Coordenadoria de Pós-Graduação em Engenharia Civil

88.047\_000 - Florianópolis/SC - Brasil

fax: + 55 (48) 236-0381

e-mail: [gamaral@matrix.com.br](mailto:gamaral@matrix.com.br), [feco@arg.ufsc.br](mailto:feco@arg.ufsc.br)

*RESUMO* Neste trabalho, propõe-se a definição de parâmetros para o dimensionamento de janelas, que levem em consideração o aproveitamento da luz natural, dentro de uma perspectiva de melhor apropriação e conservação dos recursos naturais disponíveis. A partir de simulação computacional pretende-se rever o Código de Obras de Florianópolis/SC, Brasil, a fim de avaliar os dispositivos que regulamentam a admissão de luz natural por uma abertura lateral. Com a identificação do tipo de céu predominante na localidade, pretende-se formular recomendações com base em parâmetros que não foram considerados por esta legislação construtiva, tais como, a refletância das superfícies internas, a influência de obstruções externas, e a relação do edifício com o meio ambiente (fatores geográficos e climáticos).

*ABSTRACT* The following study is aimed at setting parameters for designing and dimensioning windows that will take into consideration the importance of natural lighting. The perspective of it is, aside from providing a better living environment to the human being, achieve better use and conservation of the available natural resources. Through computerised simulation, it is intended to do a review of the Building Code of the city of Florianópolis/SC, Brazil, aiming at evaluating the devices that allow the light inside the building through the lateral opening. With the identification of the type of predominant sky in the place, it intends to formulate recommendations with base in parameters that they were not considered by this constructive legislation, such as, the reflectance of the internal surfaces, the influence of external obstructions, and the relationship of the building with the environment (geographical and climatic factors).

## 1 Introdução

Entre os inúmeros fatores que influenciam o desempenho de um ambiente, no que diz respeito às questões de conforto ambiental, encontra-se a distribuição, no tempo e no espaço, dos níveis internos de iluminação natural. As aberturas, tendo como função principal a admissão de luz natural no interior do ambiente, constituem-se num dos principais elementos de projeto que pode contribuir para a produção de um espaço construído de qualidade.

Para garantir a qualidade deste ambiente para os cidadãos, os municípios brasileiros utilizam o Código de Obras e Edificações, que é o instrumento básico que lhes permitem exercer o controle e a fiscalização do espaço construído, através de relações que orientam a sua produção formal.

Segundo Valadares (1995), dentre estas relações, as mais utilizadas são: a relação entre a área da janela pela área de piso no dimensionamento de aberturas e a limitação da profundidade de penetração da luz natural com base na altura do ambiente. Estas relações institucionalizadas nos Códigos de Obras brasileiros, são baseadas em suposições simplificadas, e não consideram as questões relativas ao conforto ambiental e de conservação de energia, uma vez que não expressam as componentes básicas da luz natural que atingem o interior do ambiente e nem a relação do edifício com o entorno.

A fim de verificar as recomendações do Código de Obras e Edificações de Florianópolis/SC (SUSP/PMF, 1996), quanto à avaliação do impacto da luz natural em ambientes internos, optou-se pela utilização da modelagem matemática por computador, utilizando o *software Lumen Micro 7*. Para a análise dos modelos, através da simulação computacional, é necessário caracterizar, previamente, o tipo de céu encontrado na localidade em estudo.

## 2 Metodologia

### 2.1 Caracterização do tipo de céu

Para caracterizar o tipo de distribuição de luminâncias encontrado em Florianópolis/SC, foi utilizado o índice *sky cleanness* ( $\varepsilon$ ).

$$\varepsilon = \frac{\left[ (I_{dH} + I_{DN}) / I_{dH} + K (\pi/2 - \gamma_s)^3 \right]}{\left[ 1 + K (\pi/2 - \gamma_s)^3 \right]}$$

(Equação 1)

onde:  $I_{dH}$  é a radiação difusa horizontal ( $W/m^2$ );

$I_{DN}$  é a radiação direta normal ( $W/m^2$ );

K é a constante com valor de 1,041;

$\gamma_s$  é a altura solar (radianos).

Este modelo matemático apresentado por Perez apud Pereira (1992) é baseado em dados empíricos, e representa a transição de uma condição de céu completamente encoberto para um céu claro com baixo turvamento, conforme tabela abaixo:

**Tab. 1** Variações do índice  $\epsilon$  de acordo com as diferentes categorias de céu.

$\epsilon$	Categorias de condições média de céu		
	Encoberto	Intermediário	Claro
limite inferior	1.00	> 1.25	$\square$ 6.00
limite superior	1.25	< 6.00	----

Como a primeira abordagem deste estudo apontou para a condição de céu encoberto como a mais freqüente, pois a maioria dos dados de  $\epsilon$  situaram-se entre 1 e 1.25, tornou-se necessário caracterizar este tipo de céu. Foi utilizado, portanto, o índice *sky brightness* ( $\Delta$ ), parâmetro que, segundo Perez apud Pereira (1992), exprime a opacidade e espessura das nuvens e dá uma estimativa da fração da radiação absorvida por elas.

$$\Delta = \frac{m_0 \cdot I_{dH}}{I_0}$$

(Equação 2)

onde:  $I_{dH}$  é a radiação difusa horizontal ( $W/m^2$ );

$I_0$  é a radiação extraterrestre ( $W/m^2$ );

$m_0$  é a massa de ar óptica relativa.

Kittler et al. (1997), apresenta a variação deste índice ( $\Delta$ ) para diferentes categorias de condições de céu encoberto, conforme a tabela abaixo:

**Tab. 2** Variações do índice  $\Delta$  de acordo com as diferentes categorias de céu encoberto

$\Delta$	Categorias de céu encoberto		
	Céu encoberto escuro	Céu encoberto brilhante sem luz do sol	Céu encoberto brilhante com luz do sol
	< 0.25	0.25 – 0.30	>0.30

Para esta análise foram utilizados os dados de radiação solar, de julho de 1994 a julho de 1997, medidos pelo laboratório LABSOLAR da Universidade Federal de Santa Catarina.

## 2.2 Modelos para simulação

A obtenção dos modelos, a partir do Código de Obras de Florianópolis/SC (SUSP/PMF, 1996), seguiu os seguintes critérios: manutenção das dimensões mínimas exigidas (área, largura e altura), cálculo da profundidade em função destes valores; e cálculo da abertura em função da fração de área ( $A_J/A_P$ ), voltada para o sul, conforme tabelas abaixo.

**Tab. 3 Modelos para simulação a partir do Código de Obras de Florianópolis/SC.**

modelo	tipo	área mínima $A_P$ (m <sup>2</sup> )	largura mínima l (m)	altura mínima H (m)	profundidade calculada $p_c$ (m)	$A_J/A_P$
A	sala comercial	18.00	2.80	2.60	6.43	1/6
B	sala residencial	12.00	2.80	2.60	4.29	1/6
C	dormitório	11.00	2.40	2.60	4.58	1/6
D	cozinha e copa	4.00	1.60	2.40	2.50	1/8

**Tab. 4 Dimensões das aberturas dos modelos a partir da relação de área de janela por área de piso apresentados no Código de Obras de Florianópolis/SC.**

modelo	tipo	área $A_J$ (m <sup>2</sup> )	largura $l_J$ (m)	altura $h_J$ (m)	peitoril $h_P$ (m)	verga $h_V$ (m)
A	sala comercial	3.00	2.14	1.40	0.90	0.30
B	sala residencial	2.00	1.43	1.40	0.90	0.30
C	dormitório	1.83	1.31	1.40	0.90	0.30
D	cozinha e copa	0.50	1.00	0.50	1.60	0.30

Ainda, com base nesta legislação, os modelos foram testados sob duas condições: sem e com obstrução de um beiral de 2.00m de comprimento, ocupando toda a largura do modelo. Estes são denominados, respectivamente, de A1, B1, C1, D1; e, A2, B2, C2, D2.

## 2.3 Avaliação de desempenho dos modelos

Baseado no critério da NBR-5413 (ABNT, 1991), no qual a iluminância em qualquer ponto do campo de trabalho não deve ser inferior a 70% do valor de iluminância média recomendada ( $E_m$ ), Cabus (1997) propõe este valor como o limite inferior ( $E^-$ ), abaixo do qual os níveis de iluminâncias serão considerados insuficientes e um limite superior ( $E^+$ ), por analogia, 130% da  $E_m$ , acima do qual estes níveis serão considerados

excessivos. O parâmetro para avaliação do desempenho dos modelos será o intervalo que apresenta os níveis de iluminâncias entre estes limites, e este será tão melhor quanto maior for a área que o contiver.

## 2.4 Coleta de dados

Na análise dos modelos, através da simulação computacional, obtiveram-se os valores de iluminância, em lux, a partir de uma malha de pontos espaçados proporcionalmente no ambiente, na mesma altura do plano de trabalho. Simultaneamente, foram gerados gráficos com curvas isolux, contendo apenas as curvas com os limites inferior ( $E^-$ ) e superior ( $E^+$ ). A partir destes gráficos pode-se definir cada uma das regiões de iluminâncias e calcular suas respectivas áreas, em  $m^2$ . Estes valores de área foram convertidos para porcentagem, a fim de se obter o desempenho de cada modelo quanto à distribuição de iluminância interna.

## 2.5 Limitação da profundidade

O Código de Obras de Florianópolis/SC, limita a profundidade do compartimento em 2.5 vezes a sua altura (pé-direito). Como este parâmetro não leva em conta a refletância das superfícies internas, introduziu-se, neste estudo, a comparação com a equação recomendada pelo CIBS Code apud Pereira (1992). Foram tomados como padrão as refletâncias de  $\rho_{\text{TETO}} = 0.7$ ,  $\rho_{\text{PAREDES}} = 0.5$  e  $\rho_{\text{PISO}} = 0.2$ .

$$D \leq \frac{2 * l * h}{(l + h) * (1 - R_m)}$$

(Equação 3)

onde:  $l$  é a largura da sala (m);

$h$  é a altura do piso até o topo da janela (m);

$R_m$  é a refletância média ponderada das superfícies da metade da sala mais afastada da janela (adimensional).

## 3 Análise dos Resultados

### 3.1 Classificação das categorias de céu

A classificação em diferentes categorias produziu 51.36% dos dados com  $\varepsilon$  abaixo de 1.25, caracterizando a condição de céu encoberto como a mais freqüente na localidade, seguido da condição de céu intermediário com 37.62% das ocorrências. Quanto ao tipo de céu encoberto mais freqüente, 54.68% dos dados apresentaram  $\Delta$  abaixo de 0.25, isto é condição de céu encoberto escuro, seguido do céu encoberto brilhante com influência da coroa solar, com 35.18% dos dados analisados, conforme tabela abaixo:

**Tab. 5 Valores proporcionais dos Índices  $\epsilon$  e  $\Delta$ , 1994 a 1997, para Florianópolis/SC.**

Categorias de céu	$\epsilon$		$\Delta$		
			<0.25	0.25 – 0.30	>0.30
céu encoberto	1 – 1.25	51.36%	54.68%	10.14%	35.18%
céu intermediário	1.25 - 6	37.62%	49.10%	15.49%	35.41%
céu claro	$\geq 6$	11.02%	100.00%	-	-

Cabe salientar que os modelos matemáticos para o cálculo de iluminância externa, estabelecidas pela IESNA e CIE modelam as condições para o céu encoberto escuro.

### 3.2 Intervalos com os níveis de iluminância

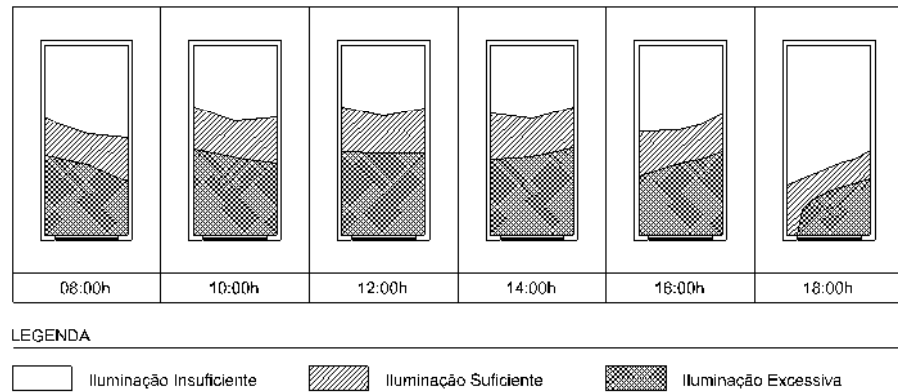
O valor da iluminância média ( $E_m$ ) recomendado pela NBR 5413 (ABNT, 1991), de acordo com o ambiente e em função do tipo de tarefa visual, para o Modelo A é de 750 lux e para os demais modelos é de 150 lux, então:

**Tab. 6 Intervalos de níveis de iluminância para os modelos analisados.**

INTERVALOS DE	MODELOS			
	Modelo A	Modelo B	Modelo C	Modelo D
<b>ILUMINAÇÃO</b>	<b>(lux)</b>	<b>(lux)</b>	<b>(lux)</b>	<b>(lux)</b>
Insuficiente	$E < 525$	$E < 105$	$E < 105$	$E < 105$
Suficiente	$525 \leq E \leq 975$	$105 \leq E \leq 195$	$105 \leq E \leq 195$	$105 \leq E \leq 195$
Excessiva	$E > 975$	$E > 195$	$E > 195$	$E > 195$

### 3.3 Simulação de iluminância nos modelos

Através da simulação dos modelos, sob ambas condições de céu encontradas, nos solstícios e equinócios, foram gerados gráficos com curvas isolux, que permitem determinar os intervalos de iluminância, como no exemplo da figura apresentada a seguir:



**Fig. 1 Gráficos com curvas isolux para o Modelo A1 (2.80mx6.43m), sob condição de céu intermediário, no solstício de verão.**

A partir destes gráficos, para a avaliação quantitativa proporcional dos resultados da simulação, os valores de área, em  $m^2$ , foram convertidos para porcentagem, conforme Tabelas 7 e 8.

**Tab. 7 Valores proporcionais de área para cada modelo, sob condição de céu intermediário.**

Iluminâncias	Modelos							
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
<b>Insuficiente</b>	60.00%	76.10%	9.82%	15.73%	10.78%	15.97%	14.26%	24.46%
<b>Suficiente</b>	14.72%	13.00%	5.11%	16.54%	4.46%	18.08%	8.74%	32.84%
<b>Excessiva</b>	25.28%	10.89%	85.07%	67.73%	84.77%	65.96%	77.00%	42.70%

**Tab. 8 Valores proporcionais de área para cada modelo, sob condição de céu encoberto.**

Iluminâncias	Modelos							
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
<b>Insuficiente</b>	90.76%	93.81%	21.54%	57.08%	21.28%	38.11%	22.25%	92.11%
<b>Suficiente</b>	6.70%	4.75%	21.14%	22.05%	24.11%	27.79%	24.36%	7.89%
<b>Excessiva</b>	2.53%	1.44%	59.40%	20.88%	54.60%	34.08%	53.39%	0.00%

Verifica-se que para os modelos A1 e A2, salas comerciais, que são responsáveis por mais de 40% do consumo de energia elétrica para iluminação, com  $E_m = 750\text{lux}$ , em ambas condições de céu, a área com iluminância insuficiente superou as demais. Enquanto nos outros modelos com  $E_m = 150\text{lux}$ , sob condição de céu intermediário, com e sem obstrução, a área com iluminância excessiva foi superior em todo o tempo. Na condição de céu encoberto e sem obstrução os modelos B, C e D apresentaram a maior parte de suas áreas com iluminância excessiva; e com obstrução, a maior parte de suas áreas apresentaram os níveis de iluminância insuficiente, durante todo o período.

### 3.4 Profundidade dos compartimentos

Tab. 9 Cálculo da limitação da profundidade do ambiente para cada modelo.

	Código de Obras de Florianópolis profundidade máxima	CIBSE profundidade máxima	Diferença entre os valores de profundidade máxima
modelos	exigida $2.5 * H$ (m)	recomendada D (m)	exigida e recomendada
A	6.50	4.84	25.54%
B	6.50	4.86	25.23%
C	6.50	4.53	30.31%
D	6.00	3.53	41.17%

O uso apenas de parâmetros empíricos, que não consideram as refletâncias das superfícies internas, no cálculo da profundidade do ambiente, resulta em espaços muito profundos em relação a altura da janela. Comparando-se a legislação de Florianópolis com a CIBSE, mais de 25% da área dos Modelos A e B, não são satisfatoriamente iluminadas com luz natural, para o Modelo C, 30.31% e para o Modelo D, 40.17%. Isto leva à sensação de desconforto causado pelo contraste excessivo entre o fundo muito escuro e as áreas muito brilhantes próximas à abertura.

## 4 Conclusões

A partir da constatação que, para garantir níveis de iluminação natural satisfatórios em ambientes internos, os dispositivos do Código de Obras de Florianópolis não são suficientes e adequados. Recomenda-se então, a inclusão de parâmetros que considerem, as condições climáticas, geográficas e a disponibilidade de luz natural do lugar, como a garantia dos níveis internos de luz natural, do direito à luz e do direito ao sol, comprovados através de gráficos (Carta de Trajetórias Solares Aparentes, Diagramas de Obstrução, Tabelas de Distribuição de Luminâncias), bem como, a modificação do dispositivo de limitação da profundidade com a consideração da refletância das superfícies internas. Espera-se que, com a inclusão, na legislação construtiva, deste parâmetros se permita planejar de forma mais eficiente e com qualidade o ambiente construído.

## 5 Referência Bibliográfica

ABNT. (1991): NBR-5413: Iluminância de interiores. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, Brasil.



Cabus, R. C. (1997): Análise do desempenho luminoso de sistemas de iluminação zenital em função da distribuição de iluminâncias. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – CPGEC/UFSC, Florianópolis, Brasil.

Kittler, R. et al. (1997): Sky classification respecting energy-efficient lighting, glare and control needs. In: Journal of the IES, (winter).

Pereira, F. O. R. (1992): Luminous and thermal performance of window shading and sunlighting reflecting devices. Thesis (Doctor of Philosophy) – School of Architectural Studies, University of Sheffield. Sheffield, UK.

SUSP/PMF. (1996): Código de Obras e Edificações - Lei Municipal nº 1246/74 (Comentado). Secretaria Municipal de Urbanismo e Serviços Públicos da Prefeitura Municipal de Florianópolis. 2ª ed. Florianópolis, Brasil.

Valadares, V. M. (1995): Fundamentos da relação entre área de janela e de piso na quantificação da luz natural em interiores. UFSC, Florianópolis, Brasil.